



(19) RU (11) 2032595 (13) C1
(51) 6 В 64 С 21/02, 21/06, 21/08

Комитет Российской Федерации
по патентам и товарным знакам

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ
к патенту Российской Федерации

ВНИИГПЭ
30 мая 1996

1
(21) 94016513/23
(22) 20.05.94
(46) 10.04.95 Бюл № 10
(75) Фищенко С.В.; Шибанов А.П.; Ярунин Н.Д.
(73) Акционерное общество закрытого типа "Лайт
Маркет"
(56) 1. Патент США N 4671474, В 64С 21/06,
1987.
2. Заявка WO 93/08076, бюллетень
РСТ/RU/00186.

Г (54) УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПОГРАНИЧ-
НЫМ СЛОЕМ

(57) Использование: для предотвращения отрыва
потока от элементов конструкции движущихся в
газовой среде объектов, например, летательных
аппаратов. Устройство управления пограничным
слоем выполнено в виде образованных на по-

2

верхности объекта каверн с размещенным в
каждой из них центральным телом таким обра-
зом, что между ним и стенками каверны образу-
ется кольцевой канал. Центральное тело – по-
лое и сообщено с источником низкого давления.
На поверхности центрального тела размещены
воздухозаборники, а внутренняя часть кольцевого
канала выполнена в виде конфузорно-диффу-
зорного проточного тракта. Каверна снабжена
средством фиксации положения линии отрыва и
локализации положения линии присоединения
пограничного слоя, которое может быть выпол-
нено в виде острой передней и притупленной
задней кромок. При работе устройства умень-
шается энергопотребление систем отсоса и
улучшаются аэродинамические характеристики
объекта. 8 зл. ф-лы. 5 ил.

RU

2032595

C1

BEST AVAILABLE COPY

Изобретение относится к системам управления пограничным слоем на поверхности объектов, движущихся в газовой среде, и предназначено для предотвращения отрыва потока от элементов конструкции объектов, например, летательных аппаратов.

Отрыв потока от поверхности летательного аппарата или другого транспортного средства, движущегося в воздушной среде, зачастую является нежелательным явлением, сопровождающимся резким ухудшением аэродинамических характеристик объекта. В частности, развитый отрыв на крыле летательного аппарата приводит к значительному падению подъемной силы. Возникновение отрыва на фюзеляже летательного аппарата выражается в относительно высоком вкладе сопротивления фюзеляжа в общее сопротивление летательного аппарата.

Физическая природа явления отрыва потока обусловлена недостаточной для преодоления неблагоприятного положительного градиента давления энергией частиц в пристеночном пограничном слое. Поэтому в известных способах управления отрывом используется принудительное повышение уровня энергии этих частиц. Для этого, например, отсасывают ту часть пограничного слоя, которая не может преодолеть установленный на обтекаемой поверхности градиент давления, в результате чего удаленный подслой замещается новым подслоем, находящимся выше него и обладающим большей энергией. Альтернативой отсосу является тангенциальный вдув высоконапорной струи в проточную часть пограничного слоя. В этом случае энергия частиц слое возрастает за счет процесса турбулентного смешения со струей. Преимущества и недостатки упомянутых способов повышения энергии частиц в пристеночном слое хорошо известны. Так, первые связаны с теоретической возможностью минимальных энергетических затрат, особенно в случае реализации распределенного по поверхности отсоса, а вторые обусловлены, главным образом, проблемой засорения системы дренажа для забора пристеночного газа и, кроме того, в случае вдува, заметным падением его эффективности с ростом скорости движения объекта. Поэтому отсос с больших площадей поверхности не получил практической реализации, а применение вдува ограничено малыми скоростями движения объекта.

Управление пограничным слоем посредством отсоса, реализуемого на небольшом участке поверхности, известно из работы устройства, содержащего в качестве

отсасывающего элемента перфорированную трубку, размещенную в углублении, образованном на стенке расширяющегося канала (патент США № 2841182, кл. 138-37, 1958). Известное устройство может быть эффективным в случае применения в каналах со значительным ростом давления на относительно малой длине стенки канала по потоку. Такие условия реализуются, например,

- 5 в диффузорах с большой степенью расширения, используемых, главным образом, в компрессорных установках. В связи с высоким давлением рабочей среды в компрессоре на перфорированных стенках отсасывающей трубки создается значительный градиент давления в радиальном направлении трубы, что уменьшает вероятность засорения дренажной системы. С другой стороны, для работоспособности устройства необходимо слить весь пограничный слой в месте размещения углубления, что позволяет осуществить безотрывное течение в сильно расширяющихся диффузорах малой длины. Однако это обстоятельство исключает применение известного устройства для управления пограничным слоем на поверхности летательного аппарата, так как в этом случае энергозатраты на полный слив пограничного слоя существенно превышают необходимые для достижения безотрывного обтекания.
- 10
- 15
- 20
- 25
- 30

К числу недостатков, исключающих применение описанного устройства для управления пограничным слоем на поверхности летательного аппарата, относится и то, что приведенная форма углубления, а именно его задней кромки, обеспечивает выполнение устройством своих функций лишь при вполне определенных параметрах внешнего потока. Изменение градиента давления или направления внешнего потока над углублением приведет к возникновению на указанной задней кромке отрыва потока, что вызовет сильное возмущение внешнего потока и ухудшение аэродинамических характеристик летательного аппарата.

Известно устройство, реализующее отсос пограничного слоя через выполненную на поверхности летательного аппарата ячейстую структуру (патент США № 4671474 В 64 С 21/06, 23/06, 1987). Ячейки ориентированы поперек потока и имеют поперечное сечение, близкое к квадратному. С некоторым шагом в ячейках установлены перегородки, в центрах которых имеются отверстия для отсоса воздуха. Расстояние между перегородками больше глубины ячейки. При отсосе внутри ячейки образуется вихрь с осью, близкой к оси ячейки. Вихрь состоит из частиц, совершающих движение по спираль-

BEST AVAILABLE COPY

ним траекториям с началом в пограничном слое и концом на отверстии в перегородке. Устройство успешно решает проблему засорения при отсосе, т.к. при высокой скорости на отверстиях и достаточно большом их диаметре засорение маловероятно. Вместе с тем известному техническому решению присущи по крайней мере следующие недостатки.

Прежде всего, это выражается в необходимости использовать большое количество перегородок для того, чтобы обеспечить более или менее равномерный отсос вдоль ячеек и устойчивость вихря между перегородками, что приводит к большому гидродинамическому сопротивлению системы и, как следствие, к высокому уровню энергопотребления. Кроме того, при большом числе перегородок возрастает количество источников отсоса, что усложняет задачу их согласования в единый газодинамический тракт.

Еще один недостаток обусловлен формой ячейки, создающей большое сопротивление внешнему потоку. В частности, общее ребро двух последовательно расположенных по потоку ячеек будет обтекаться с местным отрывом, что и будет причиной ухудшения аэrodинамических характеристик объекта.

Известно устройство управления пограничным слоем, представляющее собой одну или несколько каверн в форме каналов, выполненных в поверхности летательного аппарата в поперечном к потоку направлении (бюллетень, РСТ/RU/00186, заявку WO 93/08076, В 64 С 21/08). Поперечное сечение каверны имеет форму гладкой кривой с заостренной передней и притупленной задней кромками, причем ширина каверны превосходит ее глубину. Внутри каверны размещено тело обтекаемой формы таким образом, что между стенками каверны и тела образуется канал кольцевого сечения, имеющий открытый во внешний поток участок. В нижней части каверны располагается вход в канал отсоса, связывающий полость каверны с источником низкого давления.

Тело обтекаемой формы, называемое далее центральным телом, выполняет функцию формообразования внутреннего и внешнего участков кольцевого канала, для которого имеют место минимальные потери полного давления в потоке отсасываемого воздуха.

Заостренная передняя и притупленная задняя кромки каверны образуют средство для фиксации места расположения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя в широ-

ком диапазоне параметров внешнего потока; в результате чего на аэродинамической поверхности объекта формируется течение, близкое к безотрывному обтеканию проницаемой стенки.

Известное устройство в отличие от предыдущего аналога позволяет осуществить как равномерный, так и переменный по длине каверны отбор воздуха из ее полости. Это обеспечивается выполнением канала отсоса, позволяющего изменять местные расходные параметры, например, выбором определенной величины проходного сечения канала. Кроме того, форма полости, из которой производится отбор воздуха, в виде каверны позволяет снизить уровень сопротивления внешнему потоку, которые могут быть еще уменьшены соответствующей профилировкой каверны и центрального тела.

Вместе с тем, последний аналог имеет существенный недостаток, обусловленный особенностю течения в кольцевом канале каверны. Так, можно показать, что при работе устройства на стационарных режимах в кольцевом канале каверны будут существовать одновременно два типа течений. Линии тока первого типа будут начинаться в пограничном слое и заканчиваться в канале отсоса. Линии тока второго типа течения будут замкнутыми, а частицы, движущиеся по ним, будут образовывать либо локальные отрывные зоны, либо кластер, охватывающий область у поверхности центрального тела. В частности, траектории всех частиц, перетекающих из внутренней части кольцевого канала в его открытую часть, будут принадлежать именно ко второму типу. Эти частицы не будут участвовать в массообмене, но будут потреблять энергию частиц отсасываемого воздуха, которая рассеивается в кластере в процессе вязкой диссипации. Эта особенность работы устройства снижает его эффективность и приводит к избыточному энергопотреблению системы.

Другой недостаток наиболее близкого аналога связан с проблемой согласования большого числа источников отсоса.

Задачей изобретения является создание такого устройства управления пограничным слоем, которое бы позволило с наименьшими энергетическими затратами эффективно влиять на улучшение аэродинамических характеристик объекта, предотвращая отрыв потока на его поверхности.

Для решения поставленной задачи в известном устройстве управления пограничным слоем, выполненном в виде образованных на поверхности объекта полостей-каверн в форме каналов, расположенных друг за другом вниз по потоку в

поперечном к нему направлении, при этом каверна газодинамически связана с источником низкого давления и снабжена средством фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения внешнего пограничного слоя, причем ширина каверны превосходит ее глубину, и каждой из каверн размещено адекватное в форме центральное тело с образованием о стенками каверны кольцевого канала с внешним участком, ограниченным центральным телом и аэродинамической поверхностью объекта, при этом ширина кольцевого канала меньше поперечного размера центрального тела, последнее выполнено полым и сообщено с источником низкого давления, а газодинамическая связь каверны с этим источником осуществляется посредством размещенных на поверхности центрального тела воздухозаборников, сообщенных с полостью центрального тела, при этом форма центрального тела каверны выполнены с возможностью образования в ее кольцевом канале конфузорно-диффузорного проточного тракта.

Средство фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя может быть выполнено в виде передней и задней кромок каверны определенной геометрии (ответственно, острой и притупленной), а также в виде образованных на этих кромках краев тангенциального вдува и каналов отсоса. В последнем случае сопла вдува и каналы отсоса целесообразно выполнить с переменным расходом по длине каверны.

Воздухозаборники на поверхности центрального тела могут быть выполнены с переменным по длине каверны проходным течением. Кроме того, воздухозаборники, целесообразно выполнить в виде профицированных каналов с диффузорной выходной частью. В этом случае входное сечение каналов может быть расположено как в нормальном, так и в тангенциальном направлении к поверхности центрального тела.

Во всех случаях выполнения устройства полости каждого центрального тела может быть сообщена с источником низкого давления посредством многоступенчатого эжектора с общим каналом с возможностью регулирования расхода воздуха, поступающего в проточную часть канала из полости каждого центрального тела.

Приведенные выше признаки являются существенными и в своей совокупности позволяют решить задачу изобретения.

Так, выполнение центрального тела по-
мимо и осуществление газодинамической

связи каверны с источником низкого давления через воздухозаборники на поверхности центрального тела позволяет в кольцевом канале каверны сформировать течение со спиральными линиями тока с началом во внешнем течении и концом на входах воздухозаборников. Спиралеобразный характер линий тока свидетельствует об отсутствии вокруг центрального тела "паразитного" закольцовывания течения, которое, как это отмечалось при описании ближайшего аналога, приводило к образованию кластера, охватывающего область у поверхности центрального тела и поглощающего энергию частиц, вовлеченных в массоотбор из каверны, что и обусловливало неэффективность аналога в связи с необходимостью больших энергетических затрат для осуществления отсоса.

В предложенном устройстве устранен основной фактор, являющийся причиной избыточных энергозатрат. Выполнение же центрального тела и каверны с возможностью образования в ее кольцевом канале конфузорно-диффузорного проточного тракта позволяет избежать значительных потерь полного давления в кольцевом канале на разворотах потока, что в совокупности с отмеченными выше признаками существенно повышает эффективность устройства по сравнению с ближайшим аналогом.

Выполнение средства фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя в виде острой передней и притупленной задней кромок каверны позволяет наиболее простым путем, только за счет определенной геометрии поверхности, обеспечить оптимальные условия для безотрывного обтекания объекта в широком диапазоне параметров внешнего течения.

Реализация этого же средства, включающего сопла тангенциального вдува на передней кромке каверны способствует повышению уровня энергии на внешнем участке кольцевого канала, предотвращая отрыв потока от поверхности центрального тела, и в пограничном слое над каверной, создавая тем самым благоприятные условия для безотрывного обтекания воздухом аэrodинамической поверхности объекта. Применение для локализации положения линии присоединения пограничного слоя на задней кромке каверны каналов отсоса позволяет создать при определенных параметрах внешнего потока наиболее благоприятные условия для втекания воздуха во внутреннюю часть кольцевого канала, в частности минимизировать потери энергии течения во внутренней части кольцевого

BEST AVAILABLE COPY

канала. Подобное решение уместно при использовании устройства для управления течением с ограниченным набором параметров, например, на взлетно-посадочном режиме.

Условия обтекания могут быть еще улучшены выполнением сопел вдува и каналов отсоса на задней кромке с переменным расходом по длине каверны, т.к. в сочетании с формой каверны, центрального тела и проточных сечений воздухозаборников этот фактор позволяет в широких пределах влиять на распределение потока массы в полость каверны из внешнего течения.

Выполнение воздухозаборников в виде профилированных каналов позволяет влиять на их гидравлические сопротивления и на условия течения на входе воздухозаборников и тем самым дает возможность реализовать наилучшие условия течения над каверной с одновременным снижением энергозатрат на отсос потока. При этом во всех случаях выполнение выходной части профилированного канала в форме диффузора приводит к снижению гидравлического сопротивления воздухозаборника. Размещение входа канала воздухозаборника в нормальном к поверхности центрального тела направлении способствует снижению потерь на развороте потока в кольцевом канале, а расположение входа канала в тангенциальном направлении к центральному телу препятствует возникновению отрыва на поверхности центрального тела и во внешней части кольцевого канала.

Применение многоступенчатого эжектора с общим каналом, позволяющим регулировать расход воздуха, поступающего в проточную часть канала из полости центрального тела, в сочетании с возможностью объединения центральным телом функций ресивера отсоса и газовода обеспечило упрощение конструкции, выраженное в использовании минимального количества эжекторов, и позволило оптимальным образом решить проблему согласования источников отсоса.

Таким образом, приведенная совокупность признаков, характеризующих предложенное устройство управления пограничным слоем, обуславливает появление соответствующей совокупности технических результатов, которые обеспечивают решение задачи изобретения.

Анализ уровня техники показывает, что отсутствует устройство управления пограничным слоем, которому присущи признаки, идентичные всем существенным признакам предлагаемого устройства, что

свидетельствует о его неизвестности и, следовательно, новизне.

Что касается признаков, отличающих заявленное устройство от ближайшего аналога, то сходные признаки известны из первого аналога, описанного в разделе, посвященном предшествующему уровню техники. Действительно, использование в этом аналоге для отсоса пограничного слоя проницаемого трубчатого тела, размещенного в углублении стенки диффузора, устраивает отрыв потока от ее поверхности. Однако при этом происходит почти полный слия пограничного слоя и такая перестройка

течения в проточном тракте над углублением, которая соответствовала бы условиям, реализующимся в коротких диффузорах с большой степенью расширения и малым гидравлическим сопротивлением.

В предложенном устройстве управления пограничным слоем отбор воздуха из каверны приводит к формированию течения со структурой линий тока, близкой к структуре в пограничном слое над твердой проницаемой поверхностью, например, перфорированной стенкой, что соответствует наилучшим условиям обтекания аэродинамической поверхности объекта, относящегося к области использования изобретения, например, летательного аппарата или другого транспортного средства. Это достигается благодаря конструктивному выполнению углубления в виде каверны определенной формы и использованию

специального средства для фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя, отсасывающего элемента в виде центрального тела с воздухозаборниками и наличию кольцевого канала между центральным телом и каверной. Что касается последнего признака, то в рассматриваемом аналоге он отсутствует, т.к. в соответствии с описанием аналога сечение

отсасывающего трубчатого элемента много меньше поперечного сечения углубления, в связи с чем поле течения в нем более соответствует структуре течения жидкости в полузамкнутом объеме с точечным стоком, чем в канале с проницаемой стенкой, ширина которого много меньше длины.

Таким образом, можно утверждать, что аналог не дает оснований для вывода об известности влияния отличительных признаков на достигаемый изобретением технический результат, что позволяет заключить о соответствии предложенного решения изобретательскому уровню.

В дальнейшем изобретение поясняется чертежами, где на фиг. 1 изображено попе-

личное сечение поверхности объекта с обращенной в ней полостью каверной; на фиг. 2 – каверна со средством фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя в виде сопел вдува и каналов отсоса; на фиг. 3 – группа каверн с многоступенчатым эжектором; на фиг. 4 – центральное тело с тангенциальным входом воздухозаборника; на фиг. 5 – центральное тело с нормальным входом воздухозаборника.

Устройство управления пограничным слоем (фиг. 1) состоит из одной или нескольких полостей-каверн 1, образованных на поверхности 2 объекта, например летательного аппарата. Каверны газодинамически связаны с источником низкого давления (на чертежах не показан) и имеют вид каналов, ориентированных поперек внешнего потока, направление которого 3 показано на фиг. 1, 2 стрелками.

В качестве источника низкого давления может быть использовано любое известное устройство, создающее разжение, например, отсасывающий вентилятор. Внутри каверны закреплено любым удобным способом центральное тело 4, адекватное по форме полости каверны таким образом, что между телом 4 и стенками каверны 1 образуется кольцевой канал, имеющий открытый в поток внешний участок 5 и внутренний участок 6. Каверна 1 на поверхности 2 объекта выполнена таким образом, чтобы передняя 7 и задняя 8 ее кромки образовывали средство для фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя над каверной. При этом фиксация положения линии отрыва означает строгую геометрическую привязку положения указанной линии к элементам конструкции устройства (передней кромке 7 каверны 1), а локализация положения линии присоединения означает ограничение возможного смещения положения указанной линии (при изменении параметров внешнего потока) небольшим участком на задней кромке 8 каверны 1. Для этого передняя кромка 7 может быть выполнена острой, а задняя кромка 8 – пригруженной, как это изображено на фиг. 1. Ширина каверны превосходит ее глубину, а габаритные параметры центрального тела 4 должны соответствовать длине каверны и ее глубине таким образом, чтобы ширина кольцевого канала между центральным телом и каверной была бы меньше поперечного размера центрального тела по всей длине каверны. Форма центрального тела и каверны выполнены таким образом, что в кольцевом канале на внутреннем его участке 6 образу-

ется проточный тракт в виде диффузора 9 и сопряженных с ним на входе и выходе двух конфузоров 10 и 11.

Центральное тело выполнено полым и снабжено воздухозаборниками 12, размещенными на его поверхности. Проходное сечение воздухозаборников может быть переменным по длине каверны. Полость центрального тела сообщена с источником низкого давления, обеспечивающим при включенном отсосе отбор воздуха из кольцевого канала посредством воздухозаборников 12. Конструкция воздухозаборников может быть разнообразной, в том числе и наиболее простой – в виде отверстий в поверхности центрального тела. Однако наибольшую эффективность всего устройства управления пограничным слоем обеспечивает выполнение воздухозаборников в виде профилированных каналов с диффузорной выходной частью 13, как это показано на фиг. 1, 4, 5. При такой реализации воздухозаборников входное сечение 14 профилированного канала может располагаться как в нормальном (фиг. 4), так и в тангенциальном (фиг. 5) направлении к поверхности центрального тела. Выбор определяется конкретной задачей и местом расположения воздухозаборника. Так, нормальное расположение входного сечения более эффективно при размещении воздухозаборников на поверхности центрального тела в зонах разворота течения в кольцевом канале каверны, как это показано на фиг. 4. В этом случае снижаются потери полного давления в кольцевом канале в окрестности входного сечения канала воздухозаборника. Для того, чтобы не допустить отрыва потока в кольцевом канале от поверхности центрального тела, целесообразно использовать тангенциальное расположение входного сечения профилированного канала и разместить воздухозаборники на центральном теле в промежутке между разворотами течения. В любом из вариантов расположения входного сечения канала воздухозаборника выполнение его выходной части 13 в виде диффузора уменьшает местное гидравлическое сопротивление профилированного канала и способствует тем самым снижению потерь полного давления отсасываемой части газа.

Изобретение позволяет воздействовать на внешний поток не только путем отсоса, но и посредством вдува газа в пристеночную часть потока, что осуществляется одним из вариантов выполнения средства фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя, представленным на фиг. 2. В этом

вариант передняя кромка каверны выполнена в виде сопел 15 тангенциального вдува во внешний участок 5 кольцевого канала, а задняя кромка содержит щелевой канал отсоса 16. При этом сопла вдува и отсоса могут быть выполнены с переменным расходом по длине каверны.

При использовании в устройстве группы каверн полость каждого из размещенных в них центральных тел может быть сообщена с источником низкого давления посредством многоступенчатого эжектора, представляющего собой канал 17, соединенный с внутренними объемами центральных тел газоводами 18 (фиг. 3). Посредством эжектора осуществляется согласование между собой отбора воздуха из каверн с различными величинами давления над ними в зоне положительного градиента давления на поверхности объекта.

При обтекании воздухом объекта на передней кромке 7 каверны 1 происходит отрыв пограничного слоя. Однако отсос воздуха из полости каверны приводит к такому перераспределению энергии поперек пограничного слоя, при котором значительная его часть преодолевает возрастающее вниз по потоку давление и вновь присоединяется к поверхности объекта за пределами каверны. В результате формируется безотрывное обтекание поверхности, состоящей из непроницаемых частей — твердых элементов стенки объекта — и проницаемых участков в виде газодинамического продолжения твердой стенки. В целом такое образование известно под названием аэродинамической поверхности. По физической природе проницаемые участки аэродинамической поверхности представляют собой поверхности — сепаратрисы 19, разделяющие внешнее течение (набегающий поток) и внутреннее течение (в каверне). Начало сепаратрисы располагается на линии отрыва пограничного слоя, а конец сепаратрисы — на линии его присоединения.

Для того, чтобы избежать значительного изменения формы аэродинамической поверхности при изменении параметров внешнего течения, необходимо зафиксировать положение на объекте линии отрыва и локализовать положение линии присоединения пограничного слоя. Выполнение этого условия препятствует нестационарному характеру обтекания объекта в окрестностях указанных линий и исключает тем самым основной фактор дестабилизации течения. При выполнении средства фиксации линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя в виде острой передней кромки 7 каверны и

притупленной задней ее кромки 8, соответствующие линии-сепаратрисы 19 будут располагаться на передней (линия отрыва) и задней (линия присоединения) кромках каверны.

Когда средство фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения образовано соплами вдува 15 и каналами отсоса 16, начало и конец сепаратрисы будут располагаться соответственно на выходе сопла вдува и на входе канала отсоса.

В обоих случаях достигается геометрическая привязка сепаратрисы 19 к элементам поверхности объекта, однако во втором случае, кроме того, повышается уровень энергии во внутреннем течении открытой части 5 кольцевого канала, что позволяет избежать отрыва потока от поверхности центрального тела в этой части канала.

Работает устройство управления пограничным слоем следующим образом.

При безотрывном обтекании аэrodинамической поверхности объекта, образовавшейся в результате отсоса, структура линий тока внешнего течения оказывается близкой к структуре линий тока в пограниченом слое над твердой проницаемой поверхностью. При этом на сепаратрисе 19 устанавливается поток массы в полость каверны 1. Изменяя геометрию каверны, центрального тела и профилировку проточных трактов воздухозаборников 12, можно в широких пределах влиять на распределение потока массы на сепаратрисе, реализуя тем самым различные режимы безотрывного обтекания поверхности 2 объекта.

Так как включение отсоса приводит к появлению градиента давления в направлении полости каверны, то есть в ортогональном по отношению к скорости внешнего потока направлении, то траектории частиц газа искривляются, и в кольцевом каверне реализуется течение со спиральными линиями тока 20, 21 с началом на сепаратрисе 19 и концом на входах каналов воздухозаборников 12. Траектория частиц газа содержит несколько разворотов на 180° у торцов центрального тела, что может быть причиной потери полного давления в кольцевом канале. Однако эти потери уменьшаются благодаря выполнению канала в виде конфузорно-диффузорного проточного тракта, а также размещению воздухозаборников на центральном теле в местах разворота потока.

В некоторых случаях характер спиралеобразного движения частиц газа в кольцевом канале может быть нарушен из-за отрыва течения на поверхности центрально-

того на внешнем участке 5 канала. Такой отрыв возникает при избыточной длине внешнего участка кольцевого канала. Для предотвращения отрыва на поверхности центрального тела, ограничивающей указанный участок, с нее в этом случае осуществляется слив пограничного слоя через воздухозаборник с тангенциальным входом.

Поступая в полость центрального тела профилюенному каналу воздухозаборника, поток газа испытывает меньшее сопротивление, чем в случае отсутствия профилировки, что позволяет сохранить полное давление газа на более высоком уровне и улучшает условия его перемещения к источнику низкого давления. Если на поверхности 2 объекта давление внешнего потока переменно по длине каверны, то и массоотбор из каверны тоже будет переменным, т.к. местный расход газа в полость центрального тела зависит от перепада давления на входе воздухозаборника и в источнике низкого давления. Если при этом вдоль каверны меняется и градиент давления во внешнем потоке, то интенсивность массоотбора при неизменном проходном сечении воздухозаборника может не соответствовать оптимальным условиям безотрывного обтекания данного участка поверхности 2. Так, например, если градиент давления в потоке уменьшается вдоль каверны, то для присоединения пограничного слоя может оказаться достаточным более низкий уровень отсоса в зонах с меньшим градиентом давления, что и осуществляется за счет изменения местного проходного сечения воздухозаборника.

Аналогичным образом достигаются оптимальные условия образования сепараторных линий 19, когда в качестве средства фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя используются, соответственно,

Ф о р м у л а изобр ет ен и я

1. УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПОГРANИЧНЫМ СЛОЕМ, выполненное в виде образованных на поверхности объекта одной или нескольких полостей-каналов в форме каналов, расположенных друг за другом вниз по потоку в попечном к нему направлении, при этом полость каверны газодинамически связана с источником низкого давления и снабжена средством фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя, причем ширина каверны

сопла 15 тангенциального вдува и каналы 16 отсоса. В этом случае вдоль каверны изменяются их расходные характеристики.

В случае применения группы каверн 5 воздух из полости каждого центрального тела поступает в общий канал 17 эжектора посредством газоводов 18. Поток газа в канале 17 эжектирует воздух из полостей центральных тел в общий тракт, причем количество эжектируемого газа может изменяться за счет изменения гидравлического сопротивления проточных каналов газоводов 18, позволяя тем самым настраивать систему на оптимальные энергозатраты для отсоса из группы каверн, расположенных в направлении положительного градиента давления.

Приведенный выше материал свидетельствует, что при работе устройства устанавливается безотрывное обтекание поверхности объекта в области положительного градиента давления, и при этом в полости каверны вокруг центрального тела формируется такое течение, при котором полное давление отсасываемого воздуха будет более высокого уровня, чем это имело место в ближайшем аналоге. Кроме того, достигается лучшая управляемость потоком в кольцевом канале между центральным телом и каверной, что позволяет улучшить и условия обтекания поверхности объекта.

Все это свидетельствует, что изобретение позволяет уменьшить энергопотребление системы отсоса и улучшить аэродинамические характеристики объекта, то есть решить поставленную задачу.

Изобретение может быть использовано в системе управления пограничным слоем на элементах конструкции летательных аппаратов, а также на других транспортных средствах, при движении которых возможно ухудшение аэродинамических характеристик, вызванное отрывом потока от их поверхности.

превосходит ее глубину, и в каждой из каверн размещено адекватное по форме центральное тело с образованием со стенками каверны кольцевого канала с внешним участком, ограниченным центральным телом и аэродинамической поверхностью объекта, при этом ширина кольцевого канала меньше поперечного размера центрального тела, отличающаяся тем, что центральное тело выполнено полым и сообщено с источником низкого давления, а газодинамическая связь каверны с источником низкого давления осуществлена посредством

размещенных на поверхности центрального тела воздухозаборников, сообщенных с полостью центрального тела, при этом форма центрального тела и каверны выполнены с возможностью образования в ее кольцевом канале конфузорно-диффузорного проточного тракта.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что средство фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя выполнено в виде острой передней кромки каверны и притупленной задней кромки каверны.

3. Устройство п.1, отличающееся тем, что средство фиксации положения линии отрыва и локализации положения линии присоединения пограничного слоя выполнено в виде образованных на передней кромке каверны сопел тангенциального вдува во внешний участок кольцевого канала и каналов отсоса на задней кромке каверны.

4. Устройство по п.3, отличающееся тем, что сопла тангенциального вдува и каналы отсоса на задней кромке каверны выполнены с переменным расходом по длине каверны.

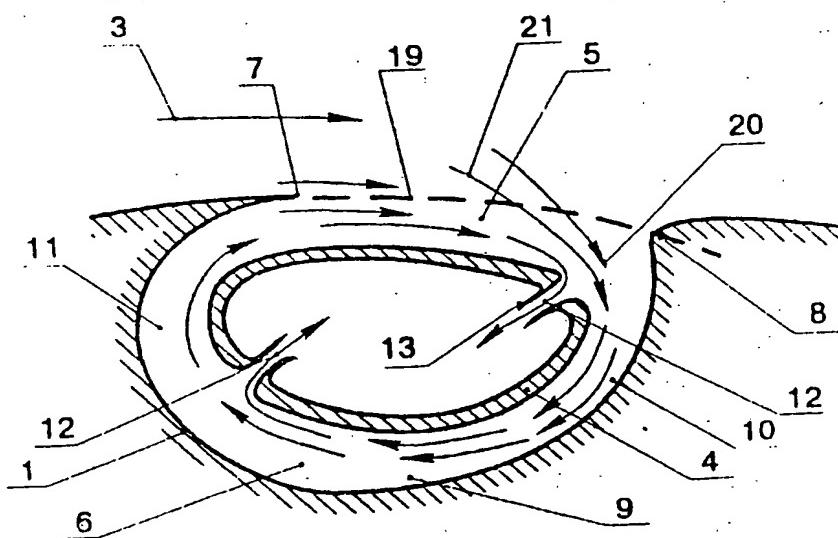
5. Устройство по пп. 1-4, отличающееся тем, что воздухозаборники выполнены с переменным по длине 5 каверны проходным сечением.

6. Устройство по пп.1-5, отличающееся тем, что воздухозаборники выполнены в виде профилированных каналов с диффузорной выходной частью.

7. Устройство по п.6, отличающееся тем, что профилированные каналы воздухозаборников выполнены с тангенциальным к поверхности центрального 15 тела входным сечением.

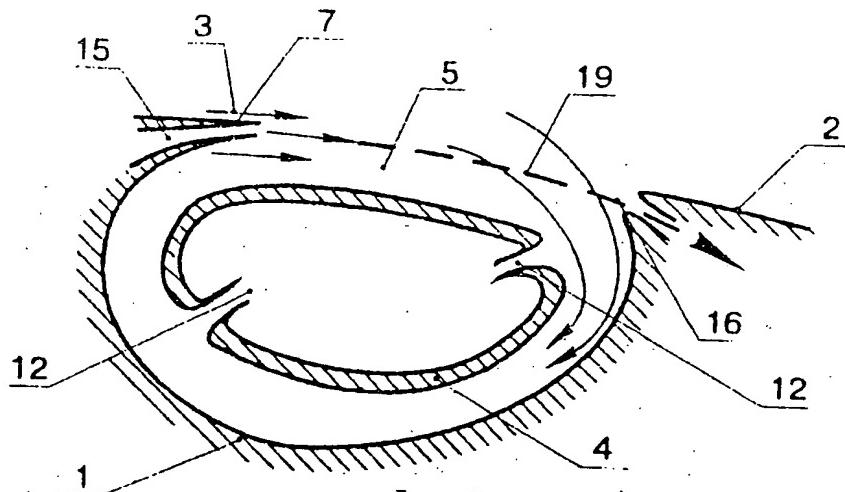
8. Устройство по п.6, отличающееся тем, что профилированные каналы воздухозаборников выполнены с нормальным к поверхности центрального тела 20 входным сечением.

9. Устройство по пп. 1-8, отличающееся тем, что полость каждого центрального тела сообщена с источником низкого давления посредством многоструйного эжектора с общим каналом с 25 возможностью регулирования расхода воздуха, поступающего в проточную часть канала из полости каждого центрального тела.

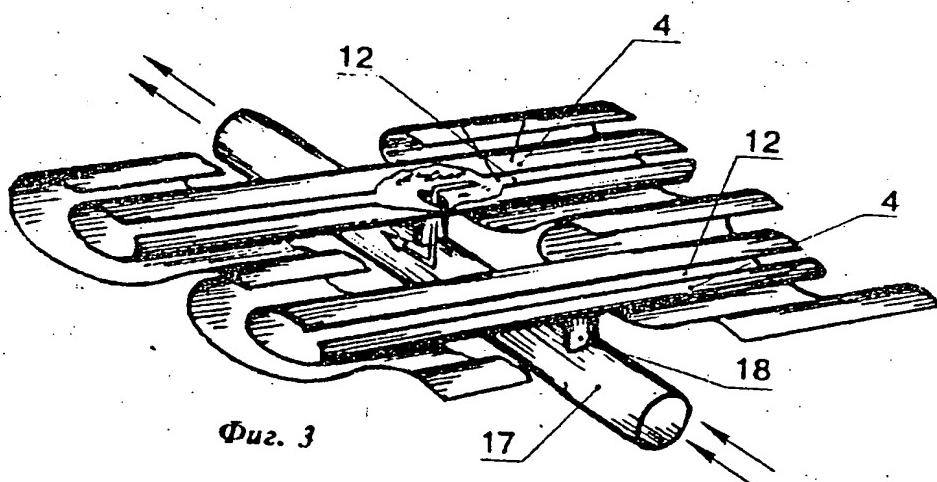


Фиг. 1

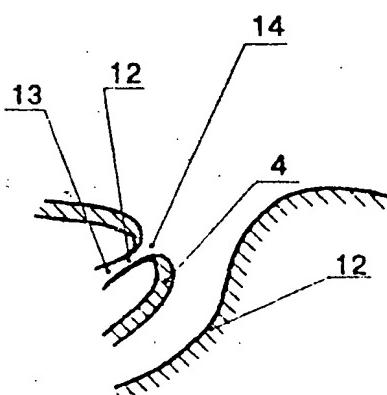
BEST AVAILABLE COPY



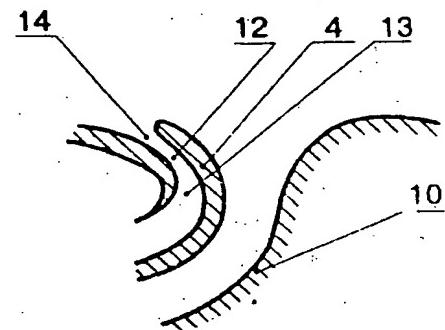
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Редактор Г.Берсенева

Составитель Н.Ярунин
Техред М.Моргентал

Корректор Л.Лукач

Экз. 109

Тираж

Подписьное

НПО "Поиск" Роспатента
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул.Гагарина, 101

BEST AVAILABLE COPY

RU Patent № 2,032,595

(54) BOUNDARY LAYER CONTROL APPARATUS

(57) Use: to prevent separation of stream from structural members of objects, for example aircrafts, that move in a gaseous medium. A boundary layer control apparatus is in the form of caverns formed in a surface of an object and having a central body placed within each cavern in such a manner that an annular channel occurs between said body and walls of a cavern. The central body is hollow and communicates with a low pressure source. A surface of the central body has air inlets placed therein, and an inner part of the annular channel is made in the form of a confusor-diffuser flow-through path. A cavern is provided with a means for fixing a position of a separation line and localizing a position of a joining line of the boundary layer; this means can be realized by making a front edge to be sharp and a rear edge to be dulled. When the apparatus operates, there are reduced energy consumption and improvement of aerodynamic characteristics of the object. 8 dependent claims, 5 Figures.

Column 6, line 55, to column 7, line 55

To solve the problem posed, in the prior art boundary layer control apparatus made as cavern-cavities formed in a surface of an object in the form of channels positioned one after another downstream in a direction transversal to the flow, wherein a cavern gas-dynamically communicates with a low pressure source and is provided with a means for fixing a position of a separation line and localizing a position of a joining line of the boundary layer, wherein a width of a cavern exceeds its depth, and each cavern has a central body adequate in shape to the cavern and mounted therein to form an annular channel in cavern walls, said channel having an outer portion limited by the central body and an aerodynamic surface of the object, wherein a width of the annular channel is less than a transverse dimension of the central body while the latter is hollow and communicates with the low pressure source, the gas-dynamic communication of the cavern with this source being realized by means of air inlets placed in the surface of the object and communicating with the cavity of the central body, wherein a

shape of the central body in the cavern is such that a confusor-diffuser flow-through path can be formed in its annular channel.

The means for fixing a position of a separation line and localizing a position of a joining line of the boundary layer can be realized by making a front edge and a rear edge of the cavern to be sharp and dulled, respectively, and also by forming tangential blow-in nozzles and suction channels at said edges. In the latter case, it is expedient to make the blow-in nozzles and the suction channels capable of providing a flow rate variable along the length of the cavern.

The air inlets in the surface of the central body can be formed with a cross-section variable along the length of the cavern. In addition, it is expedient to make the air inlets in the form of shaped channels having a diffuser exit part. In this case, an entry cross-section of the channels may be positioned in both a normal and a tangential direction to the surface of the central body.

In all embodiments of the apparatus, a cavity of each central body can communicate with the low pressure source by means of a multi-stage ejector with a common channel so as to adjust a flow rate of air supplied to the flow-through part of the channel from the cavity of each central body.

Column 11, line 12, to column 12, line 53

The boundary layer control apparatus (Figure 1) consists of one or more cavern-cavities 1 formed in a surface 2 of an object, for example, aircraft. The caverns gas-dynamically communicate with a low pressure source (not shown in the drawings) and are made in the form of channels oriented transversally to an outer stream whose direction 3 is shown by arrows in Figures 1, 2.

Used as a low pressure source can be any prior art device that creates rarefaction, for example a suction fan. A central body 4 adequate in shape to a cavern cavity is secured within the cavern by any suitable method such that an annular channel is formed between the body 4 and walls of the cavern 1 and has an outer open-to-stream portion 5 and an inner portion 6. The cavern 1 is made in the surface of the object 2 such that a front edge 7 and a rear edge 8 of the cavern form a means for fixing a position of a separation line and localizing a position

of a joining line of the boundary layer above the cavern. At the same time, fixation of the separation line position means a strict geometrical binding of said line position to structural members (the front edge 7 of the cavern 1) of the apparatus, and localization of the joining line position means limitation of possible offset of said line position (when a change of outer stream parameters takes place) by a small portion at the rear edge 8 of the cavern 1. To this end, the front edge 7 can be made sharp and the rear edge 8 can be made dulled, as shown in Figure 1, while overall dimension parameters of the central body 4 should correspond to the length of the cavern and its depth in order that a width of the annular channel between the central body and the cavern would be less than a transverse dimension of the central body throughout the length of the cavern. The shapes of the central body and the cavern are such that a flow-through path in the form of a diffuser 9 and two confusors 10 and 11 matched therewith is formed in the inner portion 6 of the annular channel.

The central body is made hollow and is provided with air inlets 12 placed in its surface. The open flow area of the air inlets may be variable along the length of the cavern. The cavity of the central body communicates with the low pressure source that provides bleeding air from the annular channel by air inlets 12 when suction is turned on. The design of the air inlets may be various, including the simplest one, that is, holes in the surface of the central body. However, the most effectiveness of the boundary layer control apparatus as a whole is provided by air inlets made in the form of shaped channels with a diffuser exit part 13, as shown in Figures 1, 4, 5. With such an embodiment of the air inlets, an entry cross-section 14 of the shaped channel may be positioned in both a normal (Figure 4) and a tangential (Figure 5) direction to the surface of the central body. The choice is determined by a particular task and a location of an air inlet. Thus, normal arrangement of the entry cross-section is more effective when the air inlets are on the surface of the central body in flow-turn zones within the annular channel of the cavern, as shown in Figure 4. It is the case of reducing the total pressure losses in the vicinity of the entry cross-section of the air inlet channel. To prevent separation of the stream in the annular channel from the surface of the central body, it is expedient to use tangential arrangement of the entry cross-section of the shaped channel, and to place the air inlets on the central body within a space between the flow turns. In any embodiment of the entry cross-section arrangement of an air inlet channel, its exit part 13

made in the form of a diffuser reduces a local hydraulic resistance of the shaped channel and thereby assists in reduction of the total pressure losses in the sucked portion of gas.

Column 13, line 21, to column 14, line 20

There is a separation of the boundary layer at the front edge of the cavern 1 when air flows around an object. However, air bleeding from the cavern cavity results in such a redistribution of energy across the boundary layer that a significant portion of said layer obviates a pressure progressively growing downstream, and newly joins the surface of the object beyond the cavern. As a result, the separation-less flow around the surface takes place, said surface consisting of impermeable parts – solid members of an object wall – and permeable portions in the form of a gas-dynamic extension of the solid wall. Generally, such a formation is known as an aerodynamic surface. By their physical nature, the permeable portions of the aerodynamic surface are separatrices-surfaces 19 that separate an outer flow (an incoming stream) from an inner flow (in the cavern). The beginning of a separatrix is on the separation line of the boundary layer, and the end of the separatrix is on the joining line of the boundary layer.

To avoid a significant change in shape of the aerodynamic surface when the outer flow parameters change, it is necessary to fix a position of the separation line on the object. Fulfillment of this condition prevents the non-stationary nature of flow around the object in the vicinities of said lines, and thereby excludes the main factor of flow destabilization. When the means for fixing a position of a separation line and localizing a position of a joining line of the boundary layer is made as a sharp front edge 7 of the cavern and the dulled rear edge 8 of the cavern, the respective separatrices-lines 19 will be positioned at the front (the separation line) and rear (the joining line) edges of the cavern.

When the means for fixing a position of a separation line and localizing a position of a joining line is formed by blow-in nozzles 15 and suction channels 16, the beginning and the end of a separatrix will be at an outlet of a blow-in nozzle and at an inlet of a suction channel, respectively.

The two cases provide the geometrical binding of the separatrix 18 to members of the object surface; however, the second case provides additional increase in the inner flow energy

level within the open part 5 of the annular channel, which allows avoidance of flow separation from the central body surface in said channel part.

Column 15, lines 10 – 38

When incoming to the cavity of the central body through the shaped channel of the air inlet, the gas stream experiences a lower resistance than in case when the shaping is absent, which allows preservation of the total gas pressure at a higher level and improves the conditions of the gas movement to the low pressure source. If the outer stream pressure on the surface 2 of the object is variable along the length of the cavern, then, the mass bleeding from the cavern will be variable as well, because a local gas flow rate to the cavity of the central body depends upon the pressure difference between an entry to the air inlet and the low pressure source. If the pressure gradient in the outer stream also changes along the cavern together with this, the intensity of mass removal at the constant open flow area may not correspond to optimum conditions for separation-less flow within the present portion of the surface 2. Thus, for example, if the pressure gradient in the stream decreases along the cavern, then, a lower suction level within zones of less pressure gradient may be sufficient to join the boundary layer; this is realized by changing a local open flow area of the air inlet.